

ADAPTACION DEL MODELO DE ANALISIS OPERATIVO EN EL I.N.M. A MAYOR RESOLUCION

Rosario Díaz-Pabón Retuerta

1. INTRODUCCION

La predicción efectuada con el actual modelo de área limitada del I.N.M. (L.A.M.) mejora considerablemente al aumentar la resolución horizontal del mismo, disminuyendo la distancia entre puntos de rejilla de 0.91° , que es la de la versión operativa, a 0.455° . Esta mejora se comprobó en los experimentos efectuados con dos situaciones de ciclogénesis en el Mediterráneo, durante el período ALPEX.

Por estas razones se consideró la necesidad de disponer de una cadena operativa de mayor resolución en el I.N.M. El primer paso que se debía llevar a cabo para obtener esta nueva cadena era adaptar el modelo de análisis de los campos meteorológicos operativos a la nueva resolución horizontal.

En el presente trabajo se expone la descripción de las modificaciones introducidas para poner operativa la nueva versión del análisis numérico de los campos de geopotencial, basada en la interpolación óptima tridimensional de las desviaciones entre observaciones y campos previos.

2. ESTRUCTURA DEL ESQUEMA DEL ANALISIS OPERATIVO Y MODIFICACIONES INTRODUCIDAS

Los análisis numéricos se realizan en instantes discretos de tiempo. Como campos previos, en el caso de la versión operativa, se utilizan predicciones numéricas y estos mismos análisis operativos en el caso de la versión de mayor resolución.

Los análisis se efectúan en proyección latitud/longitud: los operativos en el área: 65.59° N; 21.00° N; -60.00° W; y 28.27° E y en la nueva área geográfica: 51.03° N; 28.27° N; -15.86° W; y 28.27° E, los realizados en la nueva resolución (figs. 1 y 2).

El polo Norte está definido en 90° N; 00° E, aunque el modelo está preparado para poder realizar los análisis sobre unas coordenadas latitud/longitud transformadas, de forma que el polo de las mismas no coincida con el polo Norte geográfico real, para conseguir que la resolución sea más uniforme sobre el área analizada.

La distancia entre puntos de rejilla es de 0.455° de latitud/longitud, en vez de 0.91° de la versión operativa con un número total de puntos de rejilla en ambas áreas de 4.900 puntos.

Se utilizan las observaciones dentro del área de análisis comprendidas en un intervalo de tiempo de 3 horas, alrededor de la hora a la que se realiza el análisis.

Esta versión está operativa para realizar análisis de geopotencial en los siguientes niveles: 1.000, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150 y 100 mb.

3. FLUJO DE CALCULO PARA EL ANALISIS DE GEOPOTENCIAL EN ALTA RESOLUCION

Los cálculos numéricos del análisis se realizan mediante los siguientes pasos:

- Preparación de los campos previos («first guess») para el análisis de geopotencial. Se utilizan predicciones numéricas de geopotencial a 12 horas del Centro Europeo en los niveles indicados anteriormente para la pasada de las 00 Z, si están disponibles a la hora de la pasada, y predicciones numéricas a 12 horas del modelo operativo de predicción del I.N.M. en la pasada de las 12 Z, y en la de las 00 Z cuando no están disponibles las predicciones del Centro Europeo.
- Control de calidad de la consistencia espacial de las observaciones de geopotencial y análisis en los puntos de rejilla del campo de geopotencial por interpolación óptima tridimensional de las desviaciones respecto a los campos previos.
- Análisis del campo de geopotencial por interpolación óptima tridimensional con la nueva resolución y en la nueva área de las desviaciones, respecto al anterior análisis efectuado.

4. INTERPOLACION OPTIMA TRIDIMENSIONAL

Los valores analizados en los puntos de rejilla se determinan por interpolación óptima tridimensional de las desviaciones entre las observaciones y el campo previo. Este campo previo es normalmente un campo de predicción numérica (análisis operativo), o un análisis de partida (análisis de alta resolución).

Partiendo de un campo previo f_g^p de una variable meteorológica, el valor analizado f_g^{AN} en el punto de rejilla se calcula como una media ponderada del valor del campo previo f_g^p en el punto de rejilla y las desviaciones de las observaciones ($f_i^{OBS} - f_i^p$) con respecto al valor del campo previo en el punto de observación, para las observaciones situadas en las proximidades del punto de rejilla:

$$f_g^{AN} = f_g^p + \sum_{i=1}^N p_i (f_i^{OBS} - f_i^p) \quad (a)$$

Los pesos de interpolación p_i se determinan por minimización del error cuadrático medio de interpolación:

$$\text{Minimación de } E = \overline{(f_g - f_g^{AN})^2} = \overline{\left(f_g - f_g^p - \sum_{i=1}^N p_i (f_i^{OBS} - f_i^p)\right)^2}$$

Aquí el operador promedio significa un valor medio sobre un gran número de situaciones, por ejemplo, en las situaciones históricas de un mismo mes, y f_g representa el valor verdadero en el punto de rejilla de la variable meteorológica f .

Las condiciones necesarias de un valor mínimo de E con respecto a los pesos p_i son:

$$\frac{\partial E}{\partial p_k} = 0 \quad k = 1, \dots, N$$

Diferenciando y simplificando, tendremos:

$$\sum_{l=1}^n \overline{(f_k^{OBS} - f_k^P)(f_l^{OBS} - f_l^P)} P_l = \overline{(f_k^{OBS} - f_k^P)(f_g - f_g^P)} \quad k = 1, \dots, N$$

y

$$E^{MIN} = \overline{(f_g - f_g^P)^2} - \sum_{k=1}^N \overline{(f_k^{OBS} - f_k^P)(f_g - f_g^P)} P_k \quad (b)$$

Si suponemos que los errores de los campos previos y los errores de las observaciones son estadísticamente independientes, tendremos la siguiente forma simplificada:

$$\sum_{l=1}^N \{m_{lk} + d_{lk}\} P_l = m_{kg} \quad k = 1, \dots, N \quad (c)$$

$$E^{MIN} = m_{gg} - \sum_{k=1}^N m_{kg} P_k$$

donde,

$$m_{lk} = \overline{(f_k - f_k^P)(f_l - f_l^P)}$$

es la covariancia de los errores del campo previo en los punto l y k

y,

$$d_{lk} = \overline{(f_k - f_k^{OBS})(f_l - f_l^{OBS})}$$

es la covariancia de los errores de observación en los puntos l y k.

Si conocemos la estadística de los errores del campo previo m_{ij} , y la estadística de los errores de observación d_{ik} , es posible determinar los pesos de interpolación P_k , resolviendo el sistema de ecuaciones lineales (c). El valor interpolado f_g^{AN} en el punto de rejilla puede determinarse a partir (a) y, posteriormente, una estimación del error de interpolación cuadrático medio se obtiene con (b).

Las observaciones que influyen en el valor del punto de rejilla se selecciona tridimensionalmente en el espacio. Los valores de las covariancias de los errores de observación d_{ik} se encuentran convenientemente tabulados en la referencia 1.

El esquema de análisis es multivariante en el sentido de que las observaciones de geopotencial, espesor de geopotencial y presión en superficie se utilizan directamente en la interpolación del geopotencial.

5. ESTADISTICA DEL MODELADO DEL ERROR DEL CAMPO PREVIO

La covariancia de los errores de los campos previos se basa en las estadísticas de los errores de las predicciones numéricas (análisis operativo) o en los errores de los análisis operativos (análisis de alta resolución). Para el cálculo de la covariancia del error del campo previo se utiliza el siguiente modelo:

$$m_{12} = m(x_1, y_1, P_1, x_2, y_2, P_2) = SD(x_1, y_1, P_1) SD(x_2, y_2, P_2) \mu(x_1, y_1, P_1, x_2, y_2, P_2)$$

donde $SD(x, y, p)$ es la desviación estándar del error del campo previo como una función de la posición horizontal, nivel vertical y estación del año;

y $\mu(x_1, y_1, p_1, x_2, y_2, p_2)$ es la autocorrelación (covariancia normalizada) del error del campo previo; esta autocorrelación se descompone en una parte horizontal y en otra parte vertical:

$$\mu(x_1, y_1, p_1, x_2, y_2, p_2) = \alpha(p_1, p_2) \beta(x_1, y_1, x_2, y_2)$$

Este supuesto es clave en el modelo de análisis elegido y con él se consigue una simplificación considerable. Ha sido verificado mediante el cálculo de estadísticas de errores de largas series de predicciones numéricas.

6. PARTE HORIZONTAL DE LA AUTOCORRELACION

El cálculo de la parte horizontal $\beta(x_1, y_1, x_2, y_2)$ de la autocorrelación puede modelarse. Para geopotencial, temperatura y humedad relativa se considera que $\beta(x_1, y_1, x_2, y_2)$ es función de la distancia. En el caso del modelo operativo se utilizó la siguiente función Gaussiana, para establecer la correlación isotrópica de los errores de predicción:

$$\beta(x_1, y_1, x_2, y_2) = e^{-Ar_{12}^2}$$

donde r es la distancia horizontal entre los dos puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) . El parámetro A describe la escala horizontal del error de predicción que ha de ser analizado y, por consiguiente, se utilizan valores diferentes de A para diferentes variables meteorológicas ya también para la misma variable en distintos niveles. En la referencia 1, todos los valores de A se encuentran tabulados.

7. PARTE VERTICAL DE LA AUTOCORRELACION

Los valores de la parte vertical $\alpha(p_1, p_2)$ de la autocorrelación tridimensional se exponen en tablas, en la referencia 1.

Estas correlaciones verticales de los errores de predicción se tomaron de un estudio de Hollet. Las correlaciones dadas por Hollet tienen la ventaja de filtrar la influencia de los errores de observación. Con el modelo de tres parámetros sueco, el S.M.H.I. hizo un estudio limitado de las correlaciones verticales de los errores de predicción que dio resultados similares al estudio de Hollet.

8. MODIFICACIONES INTRODUCIDAS EN LA AUTOCORRELACION HORIZONTAL EN EL ANALISIS OBJETIVO DE GEOPOTENCIAL A MESO-ESCALA B

La experiencia operativa y las consideraciones teóricas han indicado propiedades espectrales pobres de las funciones de correlación Gaussiana con vistas a las variaciones a mesoescala; por consiguiente, la función de correlación Gaussiana ha sido reemplazada por una función de Bessel de segundo orden y primera clase modificada en el análisis de alta resolución.

La mayoría de los esquemas de análisis operativos, utilizados para análisis sinópticos y gran escala, suponen isotropía de los parámetros para ser analizados con respecto a las autocorrelaciones horizontales. Este supuesto es menos válido para sistemas de circulación a meso-escala y, sobre todo, para aquellos parámetros que dependen de las características de la superficie de la tierra-mar. Por tanto, funciones de correlación anisótropas.

Balgovind y otros, en 1983, utilizaron una función de primer orden de Bessel y segunda clase modificada para presentar la dependencia de las correlaciones con la distancia:

$$\mu(r) = arK_1(ar)$$

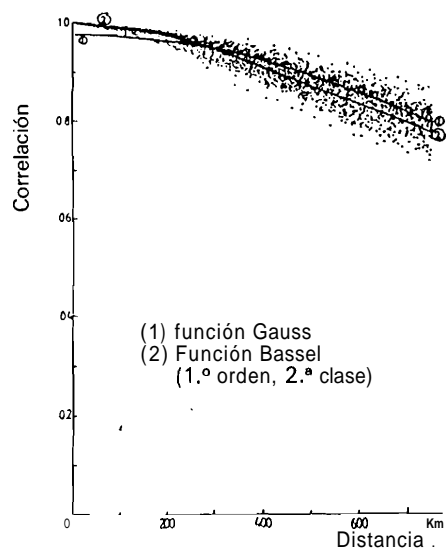
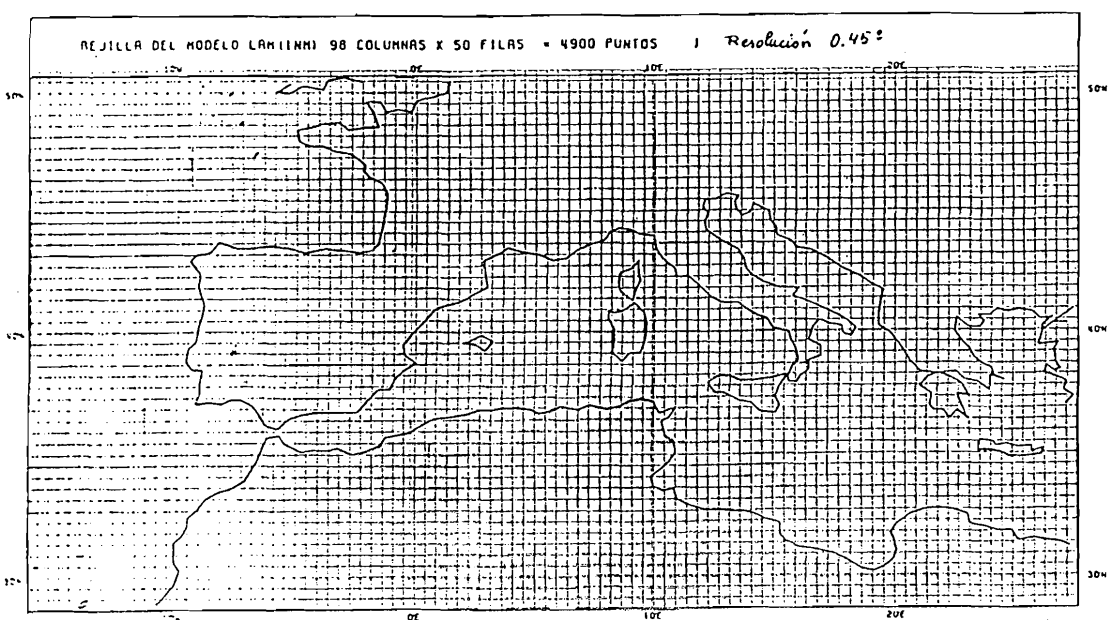
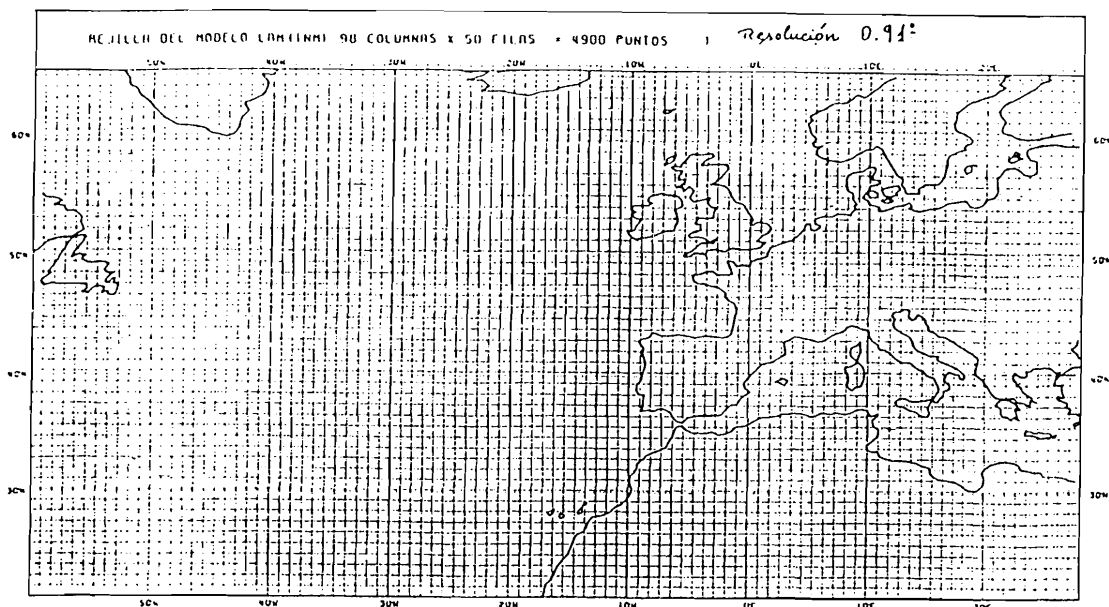


Figura 1 y 2. *Áreas de Análisis.*

Figura 3. *Función de correlación dependiente de la distancia ajustada por mínimos cuadrados.*

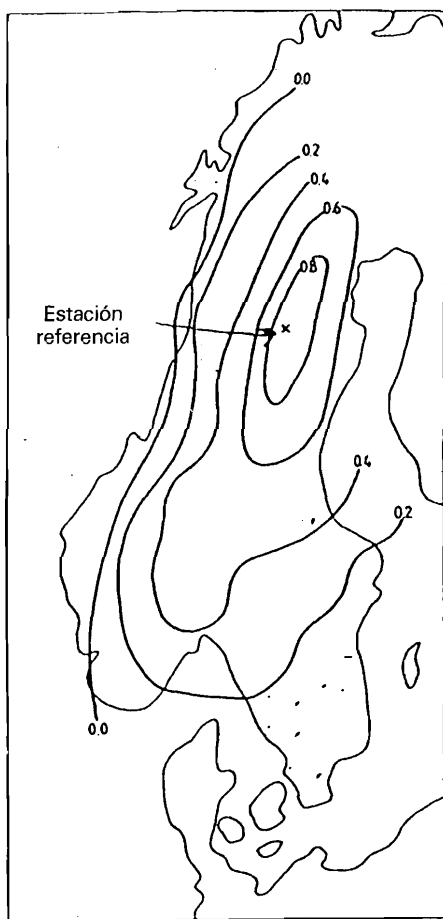


Figura 4. Correlación horizontal de los errores de predicción H+6 del ECMWF a las 12 GTM (Dic 83-Feb 84).

Anisotropía de los errores de predicción.

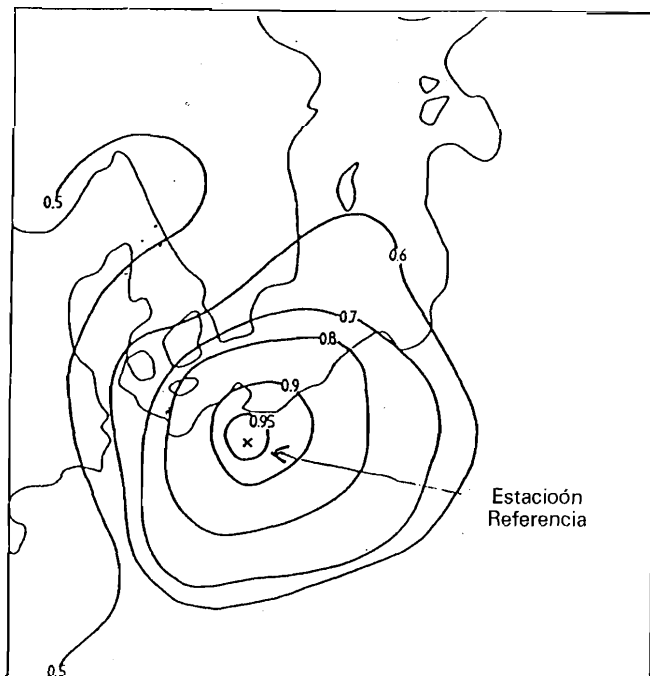


Figura 5. Correlación horizontal de los errores de predicción en zona menos influida por la topografía.

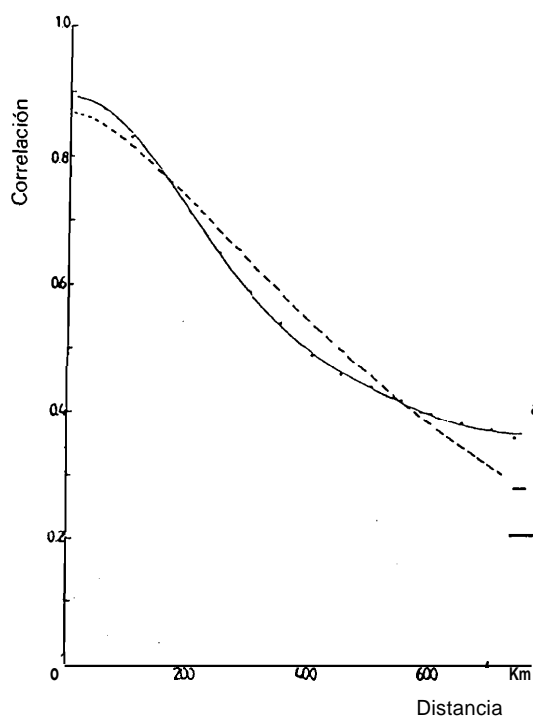


Figura 6. Funciones de correlación obtenidas por ajuste de mínimos de mínimos cuadrados.

--- Función Bessel 1.º orden, 2.ª clase.
 — Serie de 4 términos de Funciones Bessel de orden cero, 1.ª clase.
 $R = 750 \text{ km}$; $a_0 = 0,4725$; $a_1 = 0,2941$
 $a_2 = 0,0854$ y $a_3 = 0,0408$

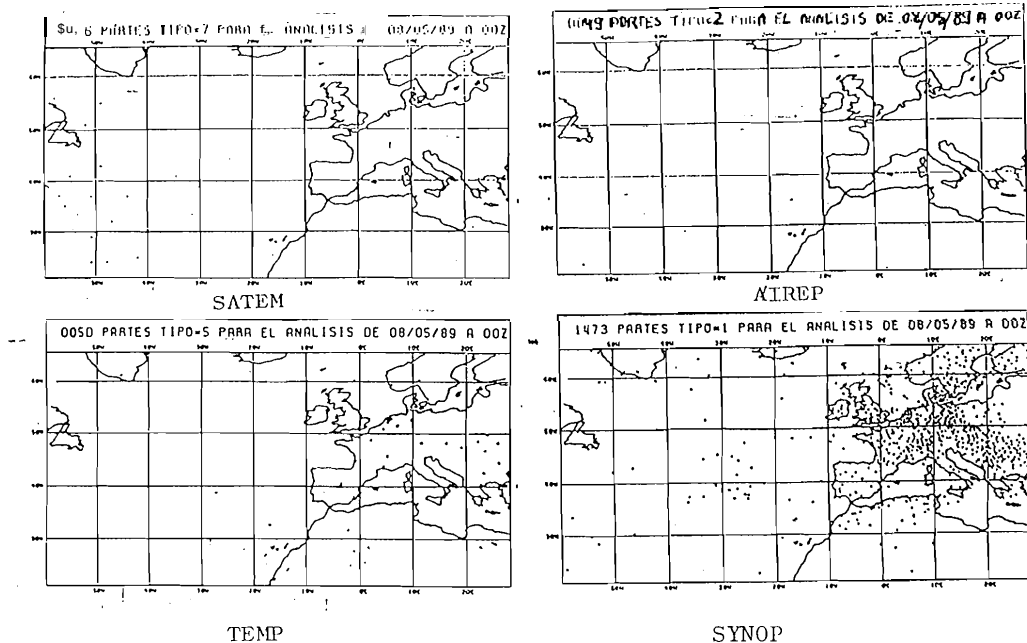


Figura 7

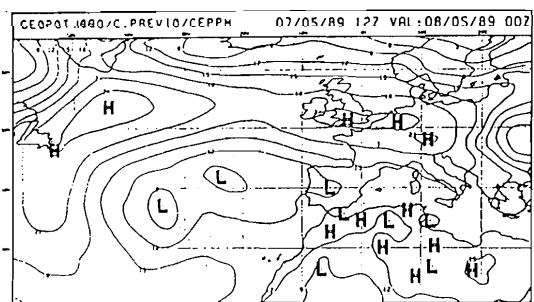


Figura 8a

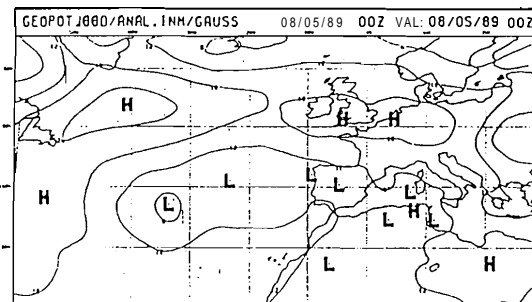


Figura 8b

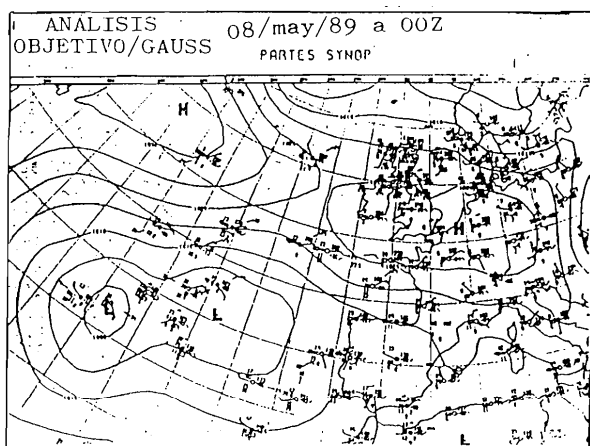


Figura 8c

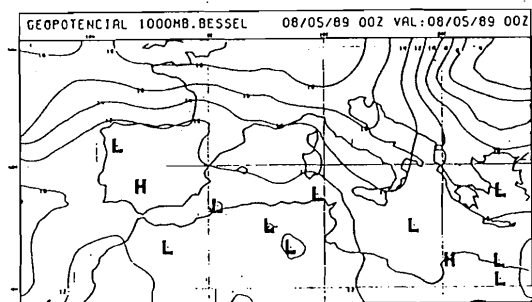


Figura 8d

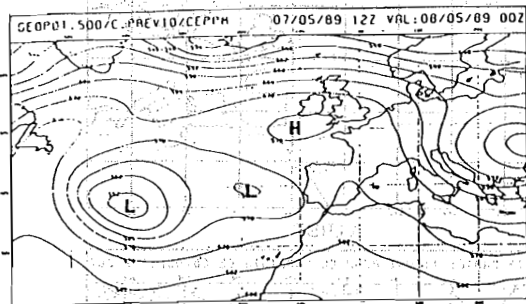


Figura 9a

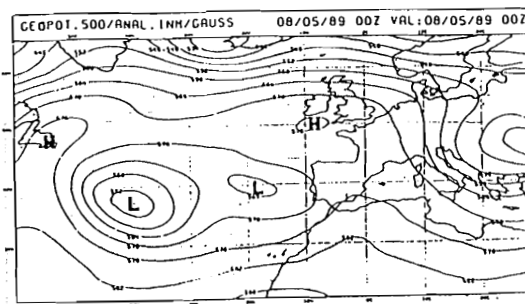


Figura 9b

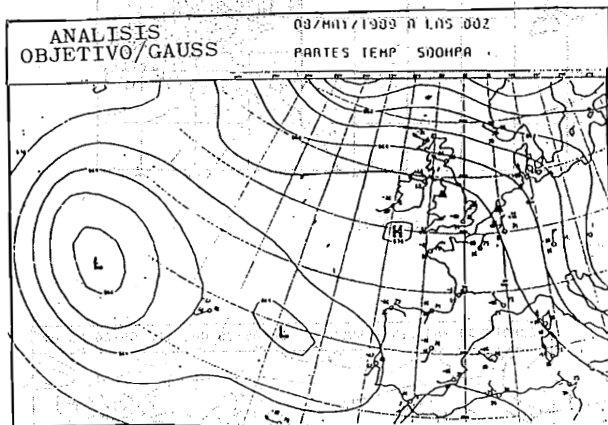


Figura 9c

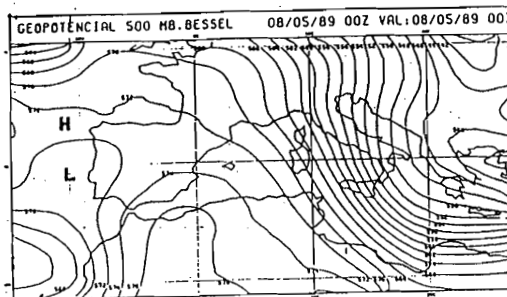


Figura 9d

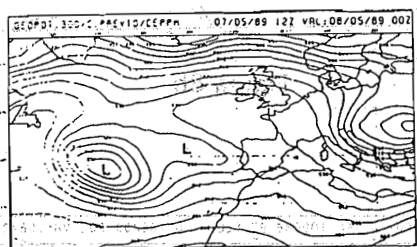


Figura 10a

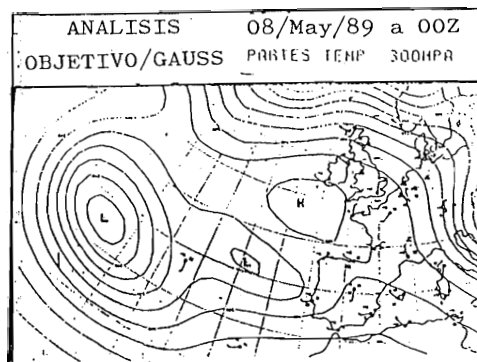


Figura 10b

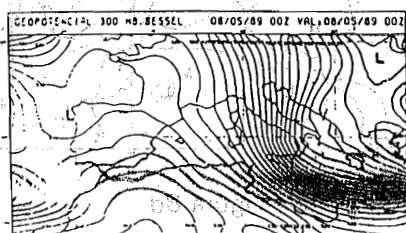


Figura 10c

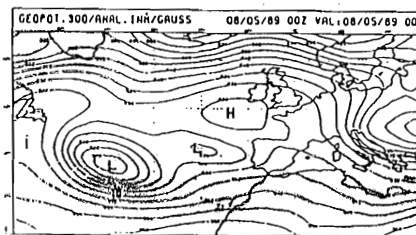


Figura 10d

con $a = 3.10^{-6}$ y r en metros. Este tipo de función prevé una mejor representación de la parte a pequeña escala de la correlación de los errores de predicción que una función de Gauss (fig. 3).

Hace aproximadamente 4 años, el E.C.M.W.F. a partir de sus ficheros de datos estadísticos recalculó sus funciones de correlación horizontal (valores observados menos previstos). Lo primero que se pudo deducir de este trabajo era la marcada anisotropía de las correlaciones de los errores de predicción en las proximidades de las cadenas montañosas de Escandinavia (fig. 4).

Mientras que en zonas con menos influencia orográfica parece ser que dichas correlaciones guardan mejor su isotropía (fig. 5).

En un trabajo reciente, Hollingsworth y Lonnberg (1984) sugirieron un nuevo modelo de correlaciones de los errores de predicción, sobre todo para los niveles más bajos. Este modelo consistía en una función de correlación horizontal $\mu(r)$, como una serie de funciones de Bessel de orden cero de primera clase:

$$\mu(r) = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i J_0\left(r \frac{k_i}{R}\right)$$

siendo, k_i el i enésimo extremo de J

r la distancia horizontal

R el factor de escala de la distancia.

Los coeficientes a_i se calculan mediante el ajuste por mínimos cuadrados al dato de correlación erripírico (fig. 6).

En nuestro trabajo hemos introducido este modelo de correlación horizontal en los niveles de 1.000 y 850 mb y el de las funciones de Bessel de primer orden y segunda clase en los demás niveles.

9. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

- Con este procedimiento se puede disponer de análisis objetivos de geopotencial en 10 niveles de presión con una resolución de 32.5 km a la latitud de 40° N.
- Los análisis objetivos de temperatura, viento y humedad de alta resolución se irán incorporando a medida que las modificaciones introducidas en las funciones de los errores de los campos previos se vayan comprobando.
- Estos análisis de alta resolución servirán de condiciones iniciales para un próximo modelo de predicción de alta resolución.
- Se aplicará esta nueva versión del modelo de análisis a situaciones meteorológicas elegidas en el Mediterráneo, con el fin de comprobar su bondad.
- Con este trabajo está puesto a punto el procedimiento para empezar a trabajar.

En las figuras 7, 8a, 8b, 8d, 9a, 9b, 9c, 9d, 10a, 10b, 10c y 10d se pueden ver los datos de observación utilizados para realizar los análisis, los campos previos, los análisis operativos, los análisis operativos superpuestos sobre los datos de observación plotados y los análisis de alta resolución en los niveles 1.000, 500 y 300 mb, respectivamente, de un día elegido al azar.

BIBLIOGRAFIA

- (1) DIAZ-PABON, R.: *Modelo operativo en el I.N.M. de análisis numérico tridimensional de campos meteorológicos* (octubre 1989), Sección de Documentación del I.N.M., Madrid.
- (2) ANDERSSON, E.; GUSTAFSSON, N.: *Development of meso-scale analysis schemes for nowcasting and very short range forecasting*. S.M.H.I. Norrköping (Suecia), enero, 1986.
- (3) GUSTAFSSON, N.; JARVENOJA, S., y otros: *Baseline experiments with a high resolution limited area model*, HIRLAM, Technical Report, núm. 1, Copenhagen (Dinamarca). noviembre, 1986.